

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JAYNE RAQUEL DE OLIVEIRA

**INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO DO LASTRO LÍQUIDO E DA PRESSÃO DOS
PNEUS NO DESEMPENHO DE TRATORES COM RODADOS DUPLOS DURANTE
O PREPARO DO SOLO**

CURITIBA

2024

JAYNE RAQUEL DE OLIVEIRA

**INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO DO LASTRO LÍQUIDO E DA PRESSÃO DOS
PNEUS NO DESEMPENHO DE TRATORES COM RODADOS DUPLOS DURANTE
O PREPARO DO SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao curso de Agronomia, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Samir Saulo Jasper

CURITIBA

2024

TERMO DE APROVAÇÃO

JAYNE RAQUEL DE OLIVEIRA

INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO DO LASTRO LÍQUIDO E DA PRESSÃO DOS PNEUS NO DESEMPENHO DE TRATORES COM RODADOS DUPLOS DURANTE O PREPARO DO SOLO

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheira Agrônoma no Curso de Graduação em Agronomia, pela seguinte banca examinadora:

Samir Paulo Jasper

Orientador Professor Dr. Samir Paulo Jasper
Departamento de Solos e Engenharia Agrícola
Setor de Ciências Agrárias - UFPR

Eduardo Affonso Jung

Eng. Agrônomo Eduardo Affonso Jung
Departamento de Solos e Engenharia Agrícola
Setor de Ciências Agrárias - UFPR

Eduardo A. Gracietti

Eng. Agrônomo Eduardo Alves Gracietti
Departamento de Solos e Engenharia Agrícola
Setor de Ciências Agrárias – UFPR

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus que me deu oportunidades, força de vontade e coragem em todos os momentos da minha vida.

À minha família, em especial aos meus pais Denise e Jadir pelos seus conselhos, paciência, dedicação, por entenderem a minha ausência em momentos importantes, pela educação que me deram e pelo seu esforço e exemplo de trabalho árduo para me proporcionar boas condições para que eu chegasse até aqui.

Ao meu avô Pedro, que, com sua forma simples de ser, sempre me aconselhou, incentivou e torceu para que eu conquistasse meus objetivos, e por me servir de exemplo de cuidado e de admiração à agricultura

Ao meu namorado Jefferson por mostrar apoio em todas as horas e pelo companheirismo até mesmo nas horas mais difíceis, entendendo minha ausência e sempre me incentivando.

Agradeço em especial ao meu orientador Prof. Samir pela sua dedicação, paciência e companheirismo ao longo do desenvolvimento do trabalho e de todos esses anos.

Agradeço também a todos do time LATA, pela amizade, pelo suporte na realização dos experimentos em campo e especialmente ao Gabriel Zimmermann que além de meu amigo, há anos tem me auxiliado com seu conhecimento na área de mecanização.

Finalmente, quero agradecer aos meus amigos, que sempre torceram, estiveram ao meu lado e me apoiaram. Agradeço pelo incentivo, pelos conselhos e pela companhia. Foi fundamental para passar essa fase desafiante.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar a influência da configuração de lastro e da pressão dos pneus no desempenho de tratores agrícolas. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Canguiri, utilizando um trator New Holland® T7 205. Os pneus traseiros do trator eram diagonais duplos, e foram testadas duas configurações de lastro: 40% de água nos quatro pneus e 75% nos pneus internos com os externos vazios. A pressão dos pneus também foi alterada, com duas configurações: 18 psi nos internos e 16 psi nos externos, e 16 psi em todos os pneus traseiros. Os dados foram coletados por sensores que mediram a rotação do motor, consumo de combustível, força na barra de tração, velocidade de deslocamento e patinagem. Os resultados indicaram que a distribuição uniforme de lastro nos quatro pneus traseiros (40/40) resultou em uma leve redução na patinagem e melhor aproveitamento energético, possivelmente devido ao maior contato entre os pneus e o solo. A pressão de 18/16 psi nos pneus traseiros também apresentou uma patinagem levemente menor em comparação à configuração de 16/16 psi, o que pode ser atribuído ao atrito dos pneus internos. Apesar das pequenas diferenças, os resultados obtidos não apresentaram significância estatística na maioria dos parâmetros analisados, sugerindo que a carga do implemento (uma grade de 14 discos) não foi suficiente para exigir a potência total do trator. O estudo concluiu que, embora tenham sido observadas leves melhorias na eficiência operacional, os resultados não foram conclusivos devido à baixa demanda de potência durante os testes. Para futuras pesquisas, recomenda-se a utilização de implementos maiores ou a adição de peso extra para aumentar a carga sobre o trator, o que possibilitaria uma análise mais precisa do impacto das configurações de lastro e pressão dos pneus no desempenho do conjunto.

Palavras-chave: Lastreamento; eficiência operacional; pressão dos pneus; patinagem; desempenho de tratores.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the influence of ballast configuration and tire pressure on the performance of agricultural tractors. The experiment was conducted at the Canguiri Experimental Farm using a New Holland® T7 205 tractor. The tractor's rear tires were dual diagonal, and two ballast configurations were tested: 40% water in all four tires and 75% in the inner tires with the outer ones empty. Tire pressure was also varied with two configurations: 18 psi in the inner tires and 16 psi in the outer tires, and 16 psi in all rear tires. Data were collected using sensors that measured engine rotation, fuel consumption, drawbar pull, travel speed, and slippage. The results indicated that the uniform ballast distribution in all four rear tires (40/40) led to a slight reduction in slippage and better energy efficiency, possibly due to greater contact between the tires and the soil. The 18/16 psi rear tire pressure configuration also showed slightly lower slippage compared to the 16/16 psi configuration, which may be attributed to the increased friction from the inner tires. Despite minor differences, most of the analyzed parameters showed no statistical significance, suggesting that the implement load (a 14-disc harrow) was insufficient to fully utilize the tractor's power. The study concluded that while slight improvements in operational efficiency were observed, the results were inconclusive due to the low power demand during the tests. Future research should consider using larger implements or adding extra weight to increase the load on the tractor, enabling a more precise analysis of the impact of ballast and tire pressure configurations on the system's performance.

Keywords: Ballasting; operational efficiency; tire pressure; slippage; tractor performance.

LISTA DE SIGLAS

RM	- Rotação do Motor
FBT	- Força na Barra de Tração
VO	- Velocidade Operacional
CHC	- Consumo Horário de Combustível
PAT	- Patinagem
CO	- Capacidade Operacional
CCH	- Consumo de Combustível por Hectare
PBT	- Potência na Barra de Tração
CEC	- Consumo Específico de Combustível
TDP	- Tomada de Potência
NS	- Não Significativo
ANOVA	- Análise de Variância
PSI	- Libras por Polegada Quadrada (Pressure per Square Inch)
GPS	- Sistema de Posicionamento Global (Global Positioning System)
CV	- Coeficiente de Variação
F1	- Fator de Configuração de Lastro
F2	- Fator de Configuração de Pressão dos Pneus

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Trator sendo pesado nas balanças do tipo sapata.....	25
Figura 2 - Peso total encontrado após a primeira pesagem.....	26
Figura 3 - Peso encontrado após a segunda pesagem.....	26
Figura 4 - Medição do diâmetro a partir do instrumento a laser.....	27
Figura 5 - Grade utilizada.....	28
Figura 6 - Sensor encoder acoplado no trator.....	29
Figura 7 - Medidor de consumo de combustível.....	30
Figura 8 - Célula de carga na barra de tração.....	30
Figura 9 - Processo de Lastragem.....	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resultados das Médias e Análise Estatística dos Parâmetros Observados em Diferentes Configurações de Lastro e Pressão dos Pneus.....	33
Quadro 2 - Efeitos das Configurações de Lastro e Pressão dos Pneus sobre o Desempenho Operacional do Trator.....	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 DESENVOLVIMENTO.....	11
2.1 CONCEITOS E PRINCÍPIOS DE AGROECOLOGIA.....	11
2.2 POLÍTICAS PÚBLICAS E SUSTENTABILIDADE.....	13
21	
2.3 A PRODUÇÃO AGROECOLÓGICA NO BRASIL.....	16
2.4 MIGRAÇÃO NO BRASIL: ASPECTOS HISTÓRICOS SOCIAIS.....	19
29	
2.5 INTEGRAÇÃO SOCIOECONÔMICO E CULTURAL DE MIGRANTES.....	22
2.6 ESPAÇO DE PRODUÇÃO/CAPACITAÇÃO.....	24
2.7 PÚBLICO BENEFICIÁRIO.....	28
2.8 REGIÃO DE CAMPO MAGRO.....	32
2.9 UM ESTUDO DE CASO SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO DA AGROECOLOGIA COMO ESTRATÉGIA DE INCLUSÃO SOCIOECONÔMICA E CULTURAL DE MIGRANTES EM CAMPO MAGRO.....	35
3 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	38
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	39
5 DISCUSSÃO.....	41
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
REFERÊNCIAS.....	46

.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura é constantemente desafiada a se adaptar a novas exigências à medida que o crescimento populacional e a demanda alimentar mundial avançam. A partir desse cenário torna-se necessário maiores investimentos tecnológicos na área de mecanização, especialmente em tratores agrícolas, para que realizem as atividades (preparo do solo, plantio e transporte) com o máximo desempenho atendendo a demandas de trabalho cada vez maiores em intervalos de tempo cada vez menores, de maneira eficiente, garantindo produtividade (Zimmermann et al., 2022).

Para que um trator atinja a sua máxima performance e entregue um bom desempenho operacional e energético, é fundamental que ele tenha uma correta distribuição de massa, que pode ser obtida através da lastragem. O lastreamento ou lastragem é o processo utilizado para determinar a massa total do trator e distribuição desse peso entre os eixos dianteiro e traseiro, além de calcular a porcentagem de lastro que será utilizado em cada pneu (Schlosser et al., 2020). Esse ajuste é fundamental para que o trator opere de forma eficiente dentro dos parâmetros ideais, evitando problemas como aumento no consumo de combustível, patinagem excessiva dos pneus e danos ao sistema mecânico, que podem reduzir a vida útil do equipamento.

Os tipos de lastro mais utilizados em tratores atualmente são: lastro hidráulico e lastro sólido. O lastro hidráulico ou lastro líquido, nada mais é do que a inserção de água dentro do pneu através da válvula de enchimento (Zimmermann et al., 2022). Costuma ser o método mais utilizado devido a sua acessibilidade e preço, embora seja uma técnica que requer mais cuidados na implantação pois demanda mais trabalho caso seja preciso alterar e exige ainda mais atenção para que se atinja a proporção desejada. O outro método utilizado é o lastro sólido que consiste normalmente em placas de ferro fundido colocadas nos rodados ou na parte dianteira e traseira que costumam ser configurados na hora da compra da máquina. Essa técnica possibilita alterar o peso do trator de forma mais eficiente nas diferentes operações que venha a desenvolver, porém seu custo é elevado devido ao material de que é composto.

Outro ponto importante além da escolha do lastro que deve ser levado em consideração quando falamos sobre a correta distribuição de massa para otimizar o desempenho dos tratores são os pneus (Lopes et al., 2005). Esses costumam ser de construção radial ou diagonal e apresentar configuração de montagem tanto simples quando dual (também chamados de duplados). Os rodados simples possuem algumas vantagens como ajuste de bitola para trabalho em entrelinhas, maior facilidade de transporte e de manutenção enquanto a montagem dupla gera maior capacidade de tração, menor compactação e uma maior estabilidade lateral, além de maior possibilidade de melhor distribuição de lastro. A escolha do pneu e da sua montagem irá influenciar no limite de enchimento máximo do pneu por lastro líquido (Monteiro et al., 2011).

Para que a lastragem ocorra de forma correta se faz necessário que a relação peso/potência e a distribuição de peso entre os eixos (%) esteja adequada. Segundo (Kmieck et al., 2023) e (Zimmermann et al., 2022) a porcentagem de peso distribuída entre os eixos levará em consideração o tipo de tração que o trator apresenta e o tipo de implemento que será acoplado, considerando a barra de tração ou o levantador hidráulico de 3° ponto.

Com a finalidade de monitorar as variáveis que serão alteradas com a distribuição de peso e certificar que a partir dos dados coletados seja realizada uma análise para garantir a melhor configuração de lastro considerando desempenho e eficiência para a operação que está sendo realizada, podemos utilizar equipamentos como sensores, células de carga e os fluxômetros (Jasper et al., 2016). A partir deles podemos coletar dados como consumo de combustível, rotação da roda, velocidade de deslocamento real, rotação do motor e o esforço da barra de tração. A partir deles pode-se calcular a patinação, a potência e o rendimento (Zimmermann et al., 2023).

Por fim, justifica-se a realização deste trabalho pela necessidade de pesquisas adicionais sobre o lastreamento, com o objetivo de elucidar dúvidas de produtores e fabricantes sobre as configurações mais eficazes para cada condição operacional. Assim, novas investigações podem oferecer dados empíricos que apoiem a otimização de máquinas agrícolas e promovam uma operação mais eficiente e sustentável.

2 ANÁLISE DA LITERATURA

A mecanização agrícola, segundo (Santos, 2012) consiste no conjunto entre máquina/implemento que é utilizada para aumentar a produtividade no campo pois fazem uso de tecnologias que otimizam diversos processos. Essa prática envolve a utilização de tratores e implementos que vão desempenhar papéis fundamentais em diversas etapas da produção, do preparo do solo ao plantio, e desse até a colheita. A mecanização agrícola integra, portanto, métodos e tecnologias que permitem otimizar o trabalho no campo, substituindo tarefas manuais e aumentando a capacidade de produção, o que resulta em maior rendimento e sustentabilidade na agricultura.

2.1 Fundamentos da Mecanização Agrícola

Segundo Santos (2012), os tratores agrícolas são os principais equipamentos utilizados na mecanização pois são extremamente versáteis, podendo ser utilizados para as mais diversas atribuições como fornecer tração, transporte e ser fonte de potência para implementos agrícolas para a realização de trabalhos no campo, sendo essa última sua principal função (Jasper et al, 2016).

Os tratores são compostos basicamente por: motor, sistema de transmissão, sistema e hidráulico e rodados, montados em um chassi (Santos, 2012). O chassi deve ser resistente e engloba toda a estrutura do trator, formado a partir da união desses componentes. Enquanto os motores são responsáveis por fornecer a potência, os rodados geram estabilidade, tração e suporte ao peso do veículo, auxiliando no deslocamento nos mais diversos terrenos. O sistema hidráulico tem função principalmente de utilizar a pressão de fluido para acionar e controlar implementos agrícolas, permitindo a elevação, movimentação e ajuste de suas posições de forma precisa e eficiente durante o trabalho no campo. Já a transmissão, resumidamente, tem função de transferir a potência do motor para as rodas, permitindo controlar a velocidade e a força de tração para diferentes condições de trabalho (Jasper et al. 2016).

O lastreamento pode ser definido como o processo utilizado para adequar a distribuição de peso do trator para cada tipo de atividade a ser realizada (Santos,

2012). Esse ajuste é fundamental principalmente para o controle de patinação já que, em excesso, esse parâmetro pode acarretar problemas como aumento do consumo de combustível, menor rendimento operacional, desgaste prematuro de componentes mecânicos, etc.

2.1.1 Tratores Agrícolas: Estrutura e Componentes

Os tratores agrícolas podem ser classificados de acordo com o tipo de chassis e rodados. Santos (2012) descreve quatro tipos de chassis: monobloco, chassis propriamente dito, semichassi e chassis articulado. Em relação aos rodados, os tratores podem ser de pneus ou de esteira. Os tratores com pneus podem ter tração 4x2 ou 4x4. A denominação 4x4 significa que as rodas irão tracionar todas da mesma forma, ou seja, terão a mesma capacidade em ambos os eixos. Já a denominação 4x2 significa que a tração será diferente de um eixo para o outro, sendo o eixo traseiro responsável pela tração. Nesse caso, podemos ter ainda o modelo 4x2 com TDA (Tração Dianteira Auxiliar) pois como os pneus dianteiros são menores que os traseiros eles precisam de auxílio para que gire tanto quanto os maiores.

O motor é a fonte de potência do trator, responsável por gerar a energia para a tração e o acionamento de implementos. A potência do motor afeta diretamente a capacidade do trator em realizar trabalhos pesados, como arar o solo ou transportar cargas (Jasper et al 2016). O sistema hidráulico permite o acoplamento e controle de implementos, como arados e semeadoras. O sistema de três pontos, por exemplo, utiliza o sistema hidráulico para levantar, abaixar e controlar a profundidade de implementos montados (Santos, 2012).

A transmissão é responsável por transferir a potência do motor para as rodas e para a tomada de força (TDP). Uma transmissão eficiente, como a automática, pode melhorar o desempenho do trator, permitindo maior velocidade com menor consumo de combustível. Jasper et al. (2016) demonstram que o gerenciamento automático de marchas permite ao trator atingir maior velocidade, potência e rendimento na barra de tração, com menor consumo de combustível em comparação ao sistema manual.

A rotação do motor e a velocidade de deslocamento são variáveis importantes que influenciam o consumo de combustível e a tração. Serrano (2007) destaca a importância de selecionar marchas altas e baixa rotação do motor para otimizar o consumo de combustível. Essa estratégia, conhecida como *gear up, throttledown*, resulta em menor consumo específico de combustível e maior eficiência na tração. A velocidade de deslocamento afeta diretamente o consumo de combustível: velocidades mais altas geralmente resultam em maior consumo (Jasper et al, 2016). No entanto, a velocidade ideal depende do tipo de trabalho, das condições do solo e do implemento utilizado.

Com relação aos pontos de disponibilidade de potência, em tratores agrícolas podemos utilizar tanto a barra de tração quanto o sistema hidráulico de três pontos. Segundo Santos, (2012), a barra de tração é o ponto de acoplamento para implementos de arrasto e a faixa de potência disponível na barra de tração varia de 40% a 70% da potência máxima do motor. Já o sistema hidráulico de três pontos permite acoplar implementos montados, sendo possível levantar, abaixar e controlar a profundidade dos implementos. Ambos permitem realizar diferentes operações agrícolas.

Alguns ajustes nos sistemas e componentes do trator, podem melhorar ou prejudicar o desempenho. Estudos realizados por Lopes et al. (2005) e Souza et al. (2014) sugerem práticas como a troca do tipo de pneus, adequação de níveis de lastreamento, respeito a relação de peso-potência para maximizar o rendimento operacional.

2.1.2 Importância do Lastreamento e Calibragem de Pneus

O lastreamento é uma técnica fundamental para otimizar o desempenho do trator agrícola, ajustando seu peso de acordo com as condições de solo e o tipo de trabalho a ser realizado. O objetivo é maximizar a tração e minimizar a patinagem, reduzindo o consumo de combustível e o desgaste dos componentes do trator. Santos (2012) descreve duas técnicas principais de lastreamento: lastreamento com contrapesos, que consiste na utilização de discos metálicos fixados às rodas traseiras ou placas metálicas na parte dianteira do trator, oferecendo a vantagem de ser facilmente ajustável, permitindo a adição ou remoção de peso conforme necessário.

E o lastreamento com água, que consiste no preenchimento dos pneus com água, atuando como um contrapeso interno, proporcionando maior estabilidade e tração.

Corrêa et al. (1997), concluíram que a distribuição de peso ideal para maximizar o desempenho na barra de tração é de aproximadamente 40% no eixo dianteiro. Os autores testaram diferentes configurações de lastro, utilizando lastros metálicos na dianteira e no eixo traseiro, além de água nos pneus. A pesquisa demonstrou que a redução do peso total do trator, mantendo a distribuição ideal, pode resultar em desempenho satisfatório na tração, com menor compactação do solo.

A calibragem dos pneus é outro fator crítico para o desempenho do trator. A pressão de inflação inadequada, seja excessiva ou insuficiente, pode causar problemas como patinagem excessiva (aumenta o consumo de combustível e reduz a eficiência da tração), desgaste irregular dos pneus (reduz a vida útil dos pneus e aumenta os custos de operação), compactação do solo (prejudica o desenvolvimento das plantas e a produtividade da lavoura).

A partir de autores como Jasper et al. (2016), é possível afirmar que a escolha da pressão de inflação adequada para cada situação depende de diversos fatores, como: tipo de solo (solos mais macios exigem pressões mais baixas para aumentar a área de contato do pneu e melhorar a tração), carga (cargas maiores exigem pressões mais altas para suportar o peso) e velocidade (velocidades mais altas exigem pressões mais altas para evitar o superaquecimento dos pneus).

2.2 Efeitos da Distribuição de Massa entre Eixos

A distribuição de massa entre os eixos dianteiro e traseiro do trator é um fator crucial para o seu desempenho, impactando diretamente a eficiência energética, a força de tração e o desgaste dos pneus. Kmiecik et al. (2023) destacam a importância da correta distribuição de massa para maximizar a eficiência energética do trator, especialmente em diferentes superfícies de operação.

Os resultados da pesquisa indicam que a distribuição de massa de 35/65%, com maior concentração de peso no eixo traseiro, proporcionou a maior força de

tração, especialmente em solo mobilizado. Essa configuração minimiza a patinagem dos rodados, aproveitando melhor a potência do motor e reduzindo o consumo de combustível. Por outro lado, a distribuição de 45/55%, mais equilibrada entre os eixos, resultou na melhor conversão da energia do combustível em trabalho, maximizando a eficiência térmica do motor.

Em relação ao desgaste dos pneus, a distribuição de massa inadequada pode levar a um desgaste irregular e prematuro. Com maior peso no eixo dianteiro, o desgaste dos pneus traseiros tende a ser acelerado, especialmente em situações de alta demanda de tração. Por outro lado, uma concentração excessiva de peso no eixo traseiro pode sobrecarregar os pneus, comprometendo sua durabilidade e aumentando o risco de falhas (Souza et al. 2014).

A otimização da distribuição de massa é um processo que envolve diversos fatores, como o tipo de solo, o implemento utilizado, a operação a ser realizada e as condições de terreno. A busca pelo equilíbrio entre maximizar a força de tração e minimizar o desgaste dos pneus, aliada à consideração da eficiência energética do conjunto, é fundamental para garantir um bom desempenho do trator e reduzir os custos operacionais.

2.3 Impactos no Consumo de Combustível e Eficiência Energética

A otimização do lastreamento e da distribuição de massa em tratores agrícolas é essencial para maximizar a eficiência e minimizar o consumo de combustível. As diferentes configurações de lastro influenciam diretamente o consumo de combustível e a eficiência energética, sendo fundamental considerar a interação entre o lastro, a pressão dos pneus, o tipo de solo e o implemento utilizado para determinar a configuração ideal.

Zimmermann et al. (2023) concluíram que tratores equipados com rodas radiais simples apresentam maior eficiência energética em comparação com rodas diagonais duplas. Os pneus radiais simples permitem aumentar a velocidade e a força na barra de tração sem elevar o consumo de combustível, otimizando o desempenho na gradagem intermediária.

Serrano (2007), evidenciou a importância da seleção de marchas altas e baixas rotações do motor para otimizar o consumo de combustível. A pesquisa demonstrou que operar o trator em regimes de rotação mais baixos (cerca de 80% do regime nominal) resulta em uma economia de combustível de 10 a 15% em comparação ao regime nominal.

A calibragem correta dos pneus é crucial para garantir a máxima eficiência do trator. Autores como Serrano (2007) e Zimmermann et al. (2022), demonstram que a pressão inadequada (excessiva ou insuficiente) pode aumentar a resistência ao rolamento, impactando negativamente a eficiência energética e elevando o consumo de combustível

2.3.1 Comparação entre Pneus Radiais e Diagonais

Os pneus radiais se destacam por sua flexibilidade e melhor distribuição de carga, características que contribuem para a redução da compactação do solo. A construção radial, com as lonas dispostas perpendicularmente à direção de rolamento, permite uma deformação mais uniforme na área de contato com o solo (Souza et al, 2012).

Zimmermann et al. (2022) demonstraram que os pneus radiais simples proporcionam um aumento na velocidade e força na barra de tração sem aumentar o consumo de combustível, resultando em melhor desempenho energético e operacional na gradagem intermediária. Essa eficiência se deve à maior área de contato, que melhora a interação pneu/solo e a capacidade de tração. Além disso, a flexibilidade dos pneus radiais contribui para uma melhor absorção dos impactos, resultando em maior conforto para o operador e menor desgaste do trator.

Os pneus diagonais, por sua vez, são caracterizados por sua maior rigidez, proporcionada pela construção com lonas dispostas diagonalmente, cruzando-se em ângulos de 45° a 60° em relação à linha central da banda de rodagem. Essa estrutura confere aos pneus diagonais maior resistência a impactos e cortes laterais, tornando-os mais duráveis em terrenos mais duros ou acidentados.

Monteiro et al. (2011) avaliaram o desempenho de um trator equipado com pneus radiais e diagonais com três níveis de lastro líquido. Os resultados indicaram

que os pneus diagonais, especialmente com 75% de lastro líquido, apresentaram maior velocidade de deslocamento, menor patinagem e menor consumo horário de combustível, gerando maior potência na barra de tração em solos mobilizados. Essa superioridade em terrenos mais desnivelados se deve à maior rigidez dos pneus diagonais, que proporciona maior estabilidade e resistência a deformações.

Em termos de consumo de combustível, tração e estabilidade, o desempenho dos pneus radiais e diagonais varia de acordo com as condições de solo e as demandas da operação (Jasper et al, 2016). Em solos firmes, pneus radiais demonstram menor resistência ao rolamento, resultando em menor consumo de combustível e maior eficiência energética, enquanto pneus diagonais podem apresentar maior patinagem e, conseqüentemente, maior consumo de combustível. Em solos mobilizados ou acidentados, pneus radiais podem sofrer maior desgaste e apresentar menor estabilidade lateral, enquanto pneus diagonais, devido a sua maior rigidez e resistência a impactos os tornam mais adequados a condições severas, proporcionando maior durabilidade e estabilidade.

Lopes et al. (2005) evidenciaram as vantagens dos pneus radiais em termos de desempenho operacional e energético. Zimmermann et al. (2022) reforçaram essa constatação, demonstrando a superioridade dos pneus radiais simples em relação aos diagonais duplos em termos de eficiência energética. Aqui é importante mencionar que a escolha do tipo de pneu ideal (radial ou diagonal) deve ser baseada em uma análise abrangente das condições de solo, das demandas da operação e das prioridades do agricultor (eficiência energética, durabilidade, estabilidade, etc.).

2.3.2 Influência da Pressão de Inflação no Desempenho

A pressão de inflação dos pneus exerce um impacto significativo na superfície de contato entre o pneu e o solo, afetando diretamente a tração e a patinagem do trator. Souza et al. (2014) constataram que pressões de inflação mais baixas resultam em menor patinagem, especialmente em superfícies de concreto. Essa redução na patinagem se deve ao aumento da área de contato entre o pneu e o solo, o que proporciona maior aderência e distribuição mais uniforme da carga. Serrano (2007)

destaca a importância da otimização da pressão dos pneus para garantir a máxima eficiência do conjunto trator-implemento.

A pressão ideal dos pneus varia de acordo com as condições de solo, a carga do trator e a velocidade de operação. Em solos macios, uma pressão mais baixa aumenta a área de contato do pneu, melhorando a distribuição da carga e reduzindo a compactação. Essa configuração maximiza a tração e minimiza a patinagem, aumentando a eficiência do trator. Monteiro et al. (2011) observaram que, em solos mobilizados, os pneus diagonais com 75% de lastro líquido apresentaram melhor desempenho, sugerindo que pressões mais baixas são benéficas em condições de solo solto.

Em solos firmes, como em superfícies de concreto, uma pressão mais alta é recomendada para garantir a estabilidade e evitar a deformação excessiva dos pneus. Souza et al. (2014) demonstraram que a menor patinagem foi obtida com a pressão mínima recomendada pelo fabricante, o que indica que a pressão deve ser ajustada para encontrar um equilíbrio entre a tração e a preservação dos pneus.

2.3.3 Efeitos da Patinagem na Tração e Consumo

A patinagem, definida como o movimento relativo entre a superfície do pneu e o solo, exerce um impacto direto na eficiência de tração e no consumo de combustível do trator. Quando a roda gira mais rápido do que o avanço real do trator, ocorre a patinagem, resultando em perda de potência e redução da força de tração disponível para o trabalho. Souza et al. (2014) demonstraram que a patinagem é influenciada pela pressão de inflação dos pneus e pela força aplicada na barra de tração. Pressões mais baixas e menor força na barra de tração resultam em menor patinagem.

A patinagem excessiva impacta negativamente o consumo de combustível e a vida útil dos componentes do trator. O atrito gerado pelo deslizamento dos pneus dissipa energia, aumentando a demanda por potência do motor e, conseqüentemente, elevando o consumo de combustível. Monteiro et al. (2011) observaram que a patinagem é um fator crítico na eficiência do trator, especialmente em solos mobilizados. Serrano (2007), enfatiza a importância da otimização dos parâmetros operacionais para minimizar as perdas energéticas.

O controle da patinação é, portanto, essencial para garantir o desempenho ideal do trator. A seleção adequada de pneus, considerando o tipo de solo e a aplicação, juntamente com a calibragem correta da pressão de inflação, são medidas cruciais para minimizar a patinação. Lopes et al. (2005), evidenciaram as vantagens dos pneus radiais em termos de desempenho e eficiência energética. Adicionalmente, a otimização da distribuição de massa do trator e a utilização de tecnologias de controle de tração contribuem para maximizar a eficiência, reduzir o consumo de combustível e prolongar a vida útil dos componentes.

2.4 Gerenciamento Manual versus Automático de Marchas

O gerenciamento de marchas em tratores agrícolas é um aspecto crucial para otimizar o desempenho do equipamento em diferentes condições de trabalho. Tradicionalmente, o gerenciamento manual de marchas era a única opção disponível, exigindo do operador um nível elevado de habilidade e atenção. Essa abordagem, embora eficaz em alguns contextos, apresenta limitações significativas, especialmente em operações agrícolas que demandam mudanças frequentes de marcha ou ajustes rápidos às condições variáveis do solo e do implemento.

No sistema manual, o operador é responsável por selecionar a marcha mais adequada, ajustando-a com base na carga de trabalho, no tipo de terreno e na força de tração necessária. Essa escolha, quando feita incorretamente, pode resultar em sobrecarga no motor, aumento no consumo de combustível e desgaste prematuro de componentes mecânicos, como a transmissão e o sistema de tração. Além disso, a troca manual de marchas muitas vezes interrompe o fluxo de potência, o que reduz a eficiência energética e pode causar perda de tempo em operações agrícolas intensivas (Jasper et al., 2016).

Com o avanço da tecnologia, os sistemas automáticos de gerenciamento de marchas foram introduzidos, trazendo benefícios significativos para o desempenho dos tratores. Esses sistemas ajustam automaticamente a marcha ideal com base em variáveis como a carga de trabalho, a velocidade desejada e a resistência do solo. Essa automatização elimina a necessidade de intervenção constante do operador, proporcionando maior conforto e permitindo um foco mais direcionado na operação como um todo (Zimmermann et al., 2023).

Um dos principais benefícios do gerenciamento automático é a manutenção do fluxo contínuo de potência durante a troca de marchas, evitando quedas bruscas de rotação do motor e melhorando a eficiência do trator. Estudos demonstram que essa abordagem não apenas reduz o consumo de combustível, mas também aumenta a produtividade nas operações agrícolas, especialmente em terrenos com grande variação de resistência (Monteiro et al., 2011). Além disso, sistemas automáticos minimizam os riscos de erro humano, garantindo que o trator opere consistentemente dentro dos parâmetros ideais.

Embora o gerenciamento automático ofereça diversas vantagens, ele também apresenta algumas limitações, como o custo elevado de aquisição e manutenção do sistema, o que pode torná-lo menos acessível para pequenos produtores. No entanto, à medida que a tecnologia avança e se torna mais amplamente adotada, esses custos tendem a diminuir, democratizando o acesso a essa funcionalidade. Apesar disso, o sistema manual continua sendo uma alternativa viável em cenários onde a simplicidade e o baixo custo são fatores prioritários (Serrano, 2007).

Em suma, o gerenciamento manual e automático de marchas apresenta características distintas que os tornam mais adequados para diferentes contextos operacionais. Enquanto o sistema manual exige maior habilidade do operador e pode ser mais suscetível a erros, o sistema automático oferece maior eficiência energética, conforto e produtividade, especialmente em operações intensivas. Dessa forma, a escolha entre os dois sistemas deve considerar as necessidades específicas da operação agrícola, o perfil do operador e as condições econômicas da propriedade.

2.4.1 Tecnologias Full-Powershift e Seus Benefícios

As transmissões *Full-Powershift* representam um avanço no campo da mecanização agrícola, proporcionando maior eficiência operacional e simplificação na troca de marchas. Essa tecnologia permite que as mudanças de marchas sejam realizadas sem interrupção no fluxo de potência, eliminando a necessidade de desacoplamento da transmissão durante o processo. Esse recurso é particularmente vantajoso em operações agrícolas que demandam alta produtividade, pois reduz os tempos de ciclo e melhora o desempenho geral do trator (Zimmermann et al., 2023).

Um dos principais benefícios das transmissões *Full-Powershift* é a capacidade de manter a rotação constante do motor, independentemente das mudanças de marcha. Isso resulta em maior estabilidade no consumo de combustível, reduzindo o desperdício energético. Além disso, a tecnologia aumenta o conforto do operador, uma vez que as trocas de marchas são realizadas automaticamente, com ajustes precisos baseados em variáveis como carga, velocidade e resistência do solo (Monteiro et al., 2011).

Outra vantagem é a durabilidade do sistema de transmissão. Estudos mostram que a tecnologia *Full-Powershift* reduz o desgaste mecânico, pois minimiza o impacto causado pelas trocas manuais de marchas, que geram picos de torque. Essa característica prolonga a vida útil dos componentes e diminui os custos de manutenção do equipamento, tornando-o mais econômico a longo prazo (Jasper et al., 2016).

As transmissões *Full-Powershift* também se destacam em cenários que envolvem terrenos irregulares ou operações que requerem mudanças constantes de marcha. Nessas condições, a tecnologia otimiza o desempenho ao ajustar automaticamente a marcha mais eficiente, mantendo o trator em condições ideais de trabalho e reduzindo a patinação e o esforço do motor (Zimmermann et al., 2022). Esse controle automatizado contribui para operações mais suaves e com menor desgaste do solo.

Apesar das suas vantagens, o custo inicial das *transmissões Full-Powershift* ainda é um desafio para a adoção generalizada, especialmente entre pequenos e médios produtores. No entanto, o aumento da eficiência operacional e a redução dos custos de manutenção tornam essa tecnologia uma opção atraente para operações de larga escala, onde os benefícios superam os investimentos iniciais. Além disso, o avanço tecnológico e a popularização da tecnologia têm contribuído para a redução dos custos, ampliando seu acesso (Serrano, 2007).

As transmissões *Full-Powershift* representam um marco na mecanização agrícola, combinando eficiência, durabilidade e conforto para o operador. Embora ainda apresentem desafios relacionados ao custo, seus benefícios em termos de

desempenho operacional e economia a longo prazo as tornam uma escolha cada vez mais relevante para os produtores que buscam otimizar suas operações agrícolas.

2.4.2 Aplicação de Sensores para Monitoramento de Desempenho

A utilização de sensores em tratores agrícolas representa um avanço significativo na busca por operações mais eficientes e sustentáveis. Esses dispositivos, instalados em pontos estratégicos do trator, coletam dados em tempo real sobre variáveis críticas, como consumo de combustível, patinação dos pneus e força de tração. Zimmermann et al. (2023) demonstram a importância do monitoramento da patinação dos rodados para a otimização do desempenho energético do trator. Monteiro et al. (2011), por sua vez, destacam a influência do tipo de pneu e da lastragem na capacidade de tração e no consumo de combustível. A partir desses dados, os agricultores podem tomar decisões mais assertivas durante a operação, ajustando parâmetros para otimizar o desempenho do conjunto trator-implemento.

O monitoramento em tempo real, viabilizado pelos sensores, oferece uma série de vantagens. Permite, por exemplo, a implementação de sistemas de gerenciamento automático de marchas, como o AutoShift™ descrito por Jasper et al. (2016), que selecionam a marcha ideal em função da demanda de potência, reduzindo o consumo de combustível e o desgaste dos componentes. Zimmermann et al. (2022) demonstraram que a utilização de pneus radiais simples proporciona maior eficiência energética na gradagem intermediária, reforçando a importância da escolha adequada dos pneus para cada operação.

O futuro do monitoramento de desempenho com sensores aponta para uma integração cada vez maior de dados e sistemas. A combinação de informações coletadas pelos sensores com dados meteorológicos, topográficos e do solo permitirá a criação de sistemas de suporte à decisão mais precisos e eficazes. Essa integração de dados tem o potencial de revolucionar as práticas agrícolas, tornando as operações mais eficientes, reduzindo o impacto ambiental e contribuindo para a sustentabilidade do setor. Embora Souza et al. (2014) não abordem especificamente o uso de sensores, seus estudos sobre a influência da pressão dos pneus na patinação

reforçam a importância da busca por soluções tecnológicas que auxiliem na otimização das operações agrícolas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Canguiri pertencente a Universidade Federal do Paraná, localizada em Pinhais (25°23'13"S 49°07'35"W), dentro do Fuso 22J - Datum WGS84 e dentro de uma Área de Preservação Ambiental, a APA do Iraí, com altitude de 910m acima do nível do mar. O clima da região pode ser descrito como Cfb - Clima subtropical úmido (mesotérmico), e apresenta como temperaturas médias 16,5°C (Harfouche et al., 2019).

O trator utilizado para coleta de dados foi um New Holland®, modelo T7 205 com potência líquida (DIN70020) de 134.0 Kw (179.7 HP) a rotação de 2200 RPM de motor. Esse trator é equipado com uma transmissão SPS (Semi Power Shift) controlada eletronicamente com 18 marchas a frente e 6 marchas a ré, com 250 horas de uso.

Os pneus dianteiros apresentavam montagem simples e resumiram-se em dois pneus diagonais da marca *GOODYEAR*, modelo Power Torque II, 18.4 – 26, com capacidade de 12 lonas. Os pneus traseiros tinham montagem dual e consistiram em quatro pneus diagonais *GOODYEAR*, modelo SUPREME *TFC*, 20.8 – 38 com capacidade de 10 lonas.

Inicialmente, os 4 pneus traseiros do trator estavam lastrados com 40% de sua capacidade com água e apresentavam 75% de água nos dois pneus dianteiros, contando também com um lastro sólido inicial de 10 placas de 45 kg cada, totalizando 450 kgs, além de apresentarem pressões de 20 psi nos pneus dianteiros, 18 psi nos pneus dianteiros internos e 16 psi nos pneus dianteiros externos.

Após a pesagem do trator com o auxílio de 4 balanças do tipo sapata (modelo CM-1002 da marca CELMIG®), o peso total encontrado foi de 10.076kg, distribuídos em 4048kgs no eixo dianteiro e 6028kgs no eixo traseiro, o que correspondia a uma distribuição de massa de aproximadamente 40/60. As pressões permaneceram as mesmas.

Figura 1 - Trator sendo pesado nas balanças do tipo sapata



Fonte: a autora (2024)

Figura 2 - Peso total encontrado após a primeira pesagem



Fonte: a autora (2024)

Retiradas 4 malas de 45kgs (180kgs) o trator passou por nova pesagem e apresentou 9893 kgs de peso total, distribuídos em 3.792kgs no eixo dianteiro e 6.101 kgs no eixo traseiro, o que corresponde a uma distribuição de 38,33% do peso no eixo dianteiro e 61,66% no traseiro. As pressões permaneceram as mesmas.

Figura 3 - Peso encontrado após a segunda pesagem



Fonte: a autora (2024)

Os pneus dianteiros foram medidos utilizando um dispositivo a laser e apresentaram raios de 658 mm no rodado dianteiro esquerdo e 659 mm no dianteiro direito. Já os pneus traseiros, de ambos os lados, apresentaram raios de 860 mm. Esses valores correspondem, respectivamente, a um diâmetro de 1,31 m para os pneus dianteiros e 1,72 m para os pneus traseiros.

Figura 4 - Medição do diâmetro a partir do instrumento a laser



Fonte: a autora (2024)

Acochado a barra de tração do trator foi colocada uma grade pesada de modelo SGAC 14c (Civemassa®) com 14 discos recortados de 30 polegadas de diâmetro, espaçamento entre discos de 0,36 m com uma largura total de trabalho de 2,34 m e massa total do implemento de 3.150 kg.

Figura 5 - Grade utilizada



Fonte: a autora (2024)

O trator foi instrumentado com sensores que foram conectados com um sistema de aquisição de dados em tempo real, a partir de um circuito impresso (Jasper et al., 2016), com aquisição de dados de 1 Hertz, onde os dados foram salvos para posterior análise. O sensor equipado no trator foi o encoder Autonics®, de modelo E50S8-360-3-T-24 utilizado para medir a rotação do motor em trabalho, sendo acoplado na tomada de potência do trator e os dados enviados para o controlador.

Figura 6 - Sensor *encoder* acoplado no trator



Fonte: a autora (2024)

Para medir o consumo de combustível instalou-se medidores de vazão modelo LSF 45L0-M2 *Flowmate* OVAL MIII®. Esses medidores de vazão foram instalados na tubulação de entrada e na tubulação de retorno do sistema de combustível do motor (bomba, bicos injetores e *common rail*). A diferença de quantidade de combustível de entrada e de retorno do sistema nos permitiu monitorar o consumo real de combustível do motor.

Figura 7 - Medidor de consumo de combustível



Fonte: a autora (2024)

Para efetuar a medida de carga na barra de tração, foi utilizado uma célula de carga Bermann® com capacidade de carga de 196 kN, sensibilidade de $2,0 + 0,002$ Mv V-1 e precisão de 0,01 kN. Esse equipamento permitiu que fizéssemos a leitura do esforço que o implemento está gerando sobre o trator.

Figura 8 - Célula de carga na barra de tração



Fonte: a autora (2024)

Para obter o deslocamento preciso do trator, utilizou-se uma antena SVA-60 (Agrosystem®) que utiliza do sinal de GPS para garantir a precisão da velocidade real de deslocamento da máquina, sem sofrer interferência do solo como é o caso dos sensores Radar, o sinal de velocidade real de deslocamento da máquina foi comparado com o sinal do sensor encoderAutonics® de modelo E50S8-360-3-T-24, que foi montado no eixo do equipamento medindo a velocidade da transmissão, com ambas as velocidades foi possível calcular de forma precisa qual é a patinação das rodas com relação ao solo.

Todos os tratamentos foram realizados na mesma área e com percurso de 100m. Além disso, os testes foram realizados com rotação do motor em 1970 RPM, com a transmissão na marcha B3 atingindo assim com a rotação do motor e marcha selecionada entre 6 e 7 km/h, usando a tração dianteira auxiliar, e com o bloqueio do diferencial acionado para todos os testes.

O primeiro tratamento o trator apresentou como configuração inicial: lastro de 40% nos quatro pneus traseiros e 75% nos pneus dianteiros. As pressões também permaneceram as mesmas: 20 psi nos pneus dianteiros, 18 psi nos pneus dianteiros internos e 16 psi nos pneus dianteiros externos.

O segundo tratamento manteve o lastro de 75% nos pneus dianteiros e 40% nos quatro pneus traseiros, porém com ajustes na pressão: 16 psi para os pneus traseiros internos e externos, e 20 psi nos pneus dianteiros.

Para o terceiro tratamento, foi necessário alterar a porcentagem de lastro, aumentando para 75% nos pneus traseiros internos e zerando nos pneus traseiros externos. Os pneus dianteiros permaneceram com 75%. As pressões foram distribuídas da seguinte forma: 20 psi nos pneus dianteiros, 18 psi nos pneus traseiros internos e 16 psi nos pneus traseiros externos.

Figura 9 - Processo de Lastragem



Fonte: a autora (2024)

O quarto tratamento foi semelhante ao terceiro, permanecendo com 75% de lastro nos pneus dianteiros, 75% no pneu traseiro interno, sem lastro nos pneus traseiros externos, porém com alteração da pressão, ficando 16 psi nos pneus traseiros internos e externos e 20 psi nos pneus dianteiros.

4 RESULTADOS

Os dados obtidos através do ensaio foram submetidos à análise ANOVA e podem ser expressos por meio da tabela abaixo, sendo os parâmetros observados: rotação do motor (RM), força na barra de tração (FBT), velocidade operacional (VO), consumo horário de combustível (CHC), patinagem (PAT), consumo de combustível por hectare (CCH) e consumo específico de combustível (CEC).

Quadro 1 - Resultados das Médias e Análise Estatística dos Parâmetros Observados em Diferentes Configurações de Lastro e Pressão dos Pneus

Fatores	RM (RPM)	FBT (kgf)	VO (km/h)	CHC (L/hora)	PAT (%)	CO (ha/h)	CCH (L/ha)	PBT (cv)	CEC (g.cv/h)
Lastro (F1)									
40/40	1965	2485.5	6.78	19.35	6.31	1.27	15.28	61.83	209
70/00	1975	2486.4	6.72	19.58	6.68	1.26	15.59	62.43	215
Pressões (F2)									
18/16	1968	2505.2	6.75	19.24	6.37	1.26	15.25	62.66	208
16/16	1972	2466.7	6.75	19.69	6.62	1.26	15.63	61.59	216
Teste F									
F1	2.297 ^{NS}	0.002 ^{NS}	1.532 ^{NS}	0.211 ^{NS}	0.161 ^{NS}	1.532 ^{NS}	0.377 ^{NS}	5.308 ^{NS}	0.829 ^{NS}
F2	0.359 ^{NS}	0.421 ^{NS}	0.011 ^{NS}	1.455 ^{NS}	0.200 ^{NS}	0.011 ^{NS}	1.547 ^{NS}	0.901 ^{NS}	1.841 ^{NS}
F1 x F2	2.717 ^{NS}	6.410 ^{NS}	0.188 ^{NS}	0.615 ^{NS}	0.228 ^{NS}	0.188 ^{NS}	0.530 ^{NS}	7.617*	1.653 ^{NS}
Coef. Var. (%)									
F1	0.74	1.66	1.65	5.63	31.16	1.65	7.18	0.94	7.31
F2	0.81	5.34	1.80	4.29	19.47	1.80	4.52	4.06	6.66
F1 x F2	0.83	2.52	1.63	6.59	24.03	1.63	8.19	2.60	9.80

Fonte: a autora (2024)

4.1 Análise das Configurações de Lastro

Quando comparamos o lastro (F1) entre as duas diferentes configurações de distribuição (40/40 e 70/00) não é possível perceber estatisticamente diferenças significativas em nenhum dos parâmetros observados. Numa análise mais sucinta podemos observar que a configuração 40/40 apresentou o valor médio de rotação de 1965 rpm, 10 rotações por minuto a menos quando comparamos com a distribuição 70/00 sendo, portanto, uma mínima diferença que foi possível de visualizar somente de forma numérica.

Considerando que o esforço que o implemento gerou na barra de tração mostrado na tabela como FBT (kgf) foi de 2485.5 kgf para a configuração de lastro 40/40 e 2486.4 kgf para a configuração de lastro de 70/00 verificou-se que tivemos a mesma média de esforço gerado pelo implemento durante ambos os testes, porém essa pequena diferença de rotação pode ser explicada se analisamos a patinagem

PAT (%) que no caso da configuração de Lastro (F1) com 40/40 foi de 6.31% contra 6.68% na configuração 70/00.

Isso nos leva a entender que, com a distribuição do lastro líquido entre os quatro pneus do eixo traseiro em 40/40, obteve-se um melhor contato entre os pneus e o solo quando comparado à configuração 70/00. Essa configuração resultou em uma redução da patinação e, conseqüentemente, em uma maior carga no motor para movimentar o conjunto de transmissão (Zimmermann et al., 2022), demonstrando que, apesar da média de RPM ter sido menor, o aproveitamento energético e o consumo de combustível foram melhores.

4.2 Comparação das Configurações de Pressão dos Pneus

Os dados de Pressão (F2) também são muitos similares entre as duas configurações, ou seja, os parâmetros observados não sofreram alterações significativas. A velocidade operacional (VO) se manteve em ambos os testes, assim como o rendimento operacional (RO), ambos mantiveram exatamente os valores. Pode-se perceber também que a rotação média do motor não teve diferenças discrepantes quando comparamos a configuração de pressão 18/16 psi com um valor de 1968 RPM contra 1972 RPM na configuração de pressão de 16/16 psi.

A patinação da configuração de pressão 18/16 foi levemente menor sendo 6.37% com aproximadamente 9.26% menor que a calibração dos pneus com 16/16. Isso pode ser explicado pelo atrito dos pneus internos, estando eles mais próximos ao centro do trator, a consequência é a geração de um melhor contato entre o pneu o solo e diminuição do nível de patinação e pelo esforço gerado baixando conseqüentemente a rotação do motor (Zimmermann et al., 2022).

4.3 Comparação das Configurações de Lastro e Pressão dos Pneus

O parâmetro de potência na barra de tração pode ser considerado significativo, quando utilizamos uma interação entre lastro e pressão, dessa maneira, fez-se um desdobramento utilizando esses dois parâmetros, conforme observado abaixo.

Quadro 2 - Efeitos das Configurações de Lastro e Pressão dos Pneus sobre o Desempenho Operacional do Trator

Fatores	40/40	70/00
18/16	61.96 Aa	63.36 Aa
16/16	62.89 Aa	60.29 Ba

Fonte: a autora (2024)

Através dessa tabela foi possível perceber que quando utilizamos pressões de 16/16 tivemos uma média inferior, comparando a pressão de 18/16 na configuração de lastro 70/00

4.4 Limitações dos Resultados e Sugestões para Testes Futuros

A partir da análise das limitações dos dados, considerando a proximidade dos valores entre os parâmetros analisados impediu que obtivéssemos uma determinação precisa qual seria a melhor configuração a ser trabalhada no equipamento. O nível de patinação, em torno de 6,5%, sugere que a carga do implemento não exigiu torque, influenciado por fatores como o perfil do solo e a umidade (Leite et al., 2017).

Segundo Mamkagh (2019) o deslizamento ideal em operações de tração deve ficar entre 8% e 12%, sugerindo também que o implemento utilizado pode não ter sido suficiente para exigir toda a potência do trator. Dessa forma, sugere-se a realização de novos testes com implementos maiores e a possibilidade de um transbordo para que haja uma variação de carga.

5 CONCLUSÕES

A partir dos testes realizados, observou-se que a distribuição uniforme de lastro entre os quatro pneus traseiros trouxe uma leve melhoria no desempenho do trator. Esta melhoria pode ser atribuída ao aumento da área de contato entre os pneus e o solo, o que contribuiu para uma redução sutil na patinagem e uma eficiência ligeiramente superior.

Além da distribuição de lastro, observou-se que a aplicação de uma pressão ligeiramente superior nos pneus internos em relação aos externos também resultou em uma performance melhorada, embora de forma sutil. Esses resultados reforçam a importância de ajustar tanto o lastreamento quanto a pressão dos pneus para maximizar o desempenho e a economia de combustível.

Os objetivos do estudo foram alcançados, pois através da instrumentação foi possível identificar pequenas diferenças no comportamento de patinagem e consumo de combustível nas diferentes configurações de distribuição de massa e pressão dos pneus. Esses fatores nos indicam que ajustes simples, como a distribuição de lastro e calibragem de pneus, podem ter um impacto positivo na eficiência operacional.

Recomenda-se, no entanto, que os testes sejam refeitos utilizando um implemento de maior porte ou utilizando transbordo para aumentar a carga de esforço sobre o trator, pois a não significância de quase todos os parâmetros sugere que outros fatores que não foram incluídos na análise estão influenciando no desempenho do trator (conjunto trator/grade, características do terreno, implemento subdimensionado, etc.) o que possibilitaria uma obtenção de dados mais precisos e representativos, garantindo a continuidade da análise sob condições semelhantes e uma comparação consistente entre as configurações testadas.

REFERÊNCIAS

CORRÊA, Ila Maria; MAZIERO, José Valdemar G.; BERTELLA, Odi; MORELLO, Marcos; YANAI, Kiyoshi. Adequação de lastro para o trator Agrale Deutz BX 4.150. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 9, p. 951-957, set. 1997.

JASPER, Samir Paulo; BUENO, Luciano de Souza Ribeiro; LASKOSKI, Maíra; LANGHINOTTI, Camilla Weber; PARIZE, Guilherme Luiz. Desempenho do trator de 157 kW na condição manual e automático de gerenciamento de marchas. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 17, n. 3, p. 55-60, jul./dez. 2016.

KMIECIK, Leonardo Leonidas; JASPER, Samir Paulo; PASSOS, Maira Laskoski; NETO, Lauro Strapasson; ZIMMERMANN, Gabriel Ganancini; SAVI, Daniel; PARIZE, Guilherme Luiz. Desempenho do trator agrícola com diferentes distribuições de massa entre eixos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 53, n. 3, e20210604, 2023.

LOPES, Afonso; LANÇAS, Kléber Pereira; SILVA, Rouverson Pereira da; FURLANI, Carlos Eduardo Angeli; NAGAOKA, Alberto Kazushi; REIS, Gustavo Naves dos. Desempenho de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 366-370, mar./abr. 2005.

MONTEIRO, Leonardo de A.; LANÇAS, Kléber P.; GUERRA, Saulo P. S. Desempenho de um trator agrícola equipado com pneus radiais e com pneus diagonais para três níveis de lastros líquidos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 551-560, maio/jun. 2011.

SANTOS, Jefferson Lucas. **Mecanização Agrícola**. Instituto Formação Cursos Técnicos Profissionalizantes, Barra da Estiva, BA, 2012.

SERRANO, João Manuel Pereira Ramalho. Desempenho de tratores agrícolas em tração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 7, p. 1021-1027, jul. 2007.

SOUZA, Fábio Henrique de; MONTEIRO, Leonardo de Almeida; MELLO, Luiz Malcolm Mano de; FREITAS, Leandro Alves. Determinação da patinagem dos rodados do trator em função da pressão de inflação dos pneus e força aplicada na barra de tração em pista de concreto. **Anais do XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA**, Campo Grande, MS, 27 a 31 de julho de 2014.

ZIMMERMANN, Gabriel G.; JASPER, Samir P.; SAVI, Daniel; FRANCETTO, Tiago R.; CORTEZ, Jorge W. Full-powershift energy behavior tractor in soil tillage operation. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 43, n. 6, e20230054, 2023.

ZIMMERMANN, Gabriel Ganancini; SAVI, Daniel; AULER, André Carlos; STRAPASSON NETO, Lauro; JASPER, Samir Paulo. Efeito da lastragem hidráulica e sólida no desempenho de trator agrícola. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 53, e20217963, 2022.

ZIMMERMANN, Gabriel G.; SAVI, Daniel; JASPER, Samir P.; KMIECIK, Leonardo L.; STRAPASSON NETO, Lauro; SOBENKO, Luiz R. Desempenho energético de trator agrícola com rodas radiais simples versus diagonais duplas em operação de gradagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 26, n. 5, p. 356-364, 2022.